

зоне. Етому износу також може сприяти фреттинг-корозія. Результатом износу може бути порушення цілості конструкції, т.е. зміщенні бандажа відносно осі, що приведе до аварійних ситуацій, а також до виходу валка із строю.

Авторами запропонована технологія посадки бандажа на вісь, що дозволяє усунювати або суттєво знизити цей негативний ефект. Данна технологія ґрунтується на використанні ефекту зміни об'єму металу в процесі структурних перетворень. Так при розпаді аустеніту і перетворенні його в мартенсит відбувається збільшення об'єму. З цією метою на крайових ділянках контакту бандажа і осі наплавляється шар аустенітного матеріалу. Після цього проводиться механічна обробка сопрягаємих поверхонь і посадка бандажа на вісь з використанням зварювальних технологій.

Результати випробувань показали високу якість і надійність нероз'ємного з'єднання при виготовленні складних виробів по розробленій авторами технології.

## **СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ШАРІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПЛІВКОВИХ НАГРІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

З.А. Дурягіна, д.т.н., професор; В.Я. Підкова, аспірант,  
С.О. Ольшевська, ст. дослідник, Національний університет «Львівська  
політехніка»

Широкого використання серед електричних нагрівачів набули пласкі плівкові нагрівні елементи особливо при контактній передачі тепла об'єкту нагрівання. Конструктивно такі нагрівні елементи складаються з металеві основи (як правило сталь марки 40Х13) та послідовно нанесених на неї склоподібного ізоляційного та резистивного шару. Шари у даному виробі мають строго визначені функціональні властивості: діелектричний шар виконує функцію електроізолятора, а резистивний – струмопровідного тепловиділяючого шару. Резистивний шар нагрівача через тонкий захисний шар діелектрика здатний передавати температуру з малим тепловим опором безпосередньо тілу, що нагрівається. Температура електронагрівача за лічені хвилини досягає заданого значення.

Однак виготовлення плівкових нагрівних елементів пов'язано з рядом труднощів, що полягають: у підборі матеріалів, що здатні забезпечити необхідні функціональні властивості діелектричного та резистивного шару; у виборі ефективного методу для формування якісних шарів достатньої товщини, з високою адгезією до поверхні.

Відомо, що для отримання діелектричних шарів можуть використовуватись методи епітаксії з парової фази, реактивної молекулярно-променевої епітаксії, магнетронного ВЧ-розпилення, діодного реактивного ВЧ-розпилення, а також іонної імплантації [1]. Проте більшість цих методів не здатна формувати шари достатньої товщини. Крім того, структура таких шарів характеризується високим ступенем дефектності: мікро- і макропористістю, наявністю чужорідних включень, високою шорсткістю поверхні. Це негативно відбивається на їх механічних та діелектричних характеристиках [2].

Для усунення вказаних недоліків нами використана сучасна гібридна іонно-плазмова система [3] за допомогою якої на підкладки із сталі 40X13 та сплаву марки АМг2 напилені діелектричні шари, що складаються з оксиду магнію (MgO) та нітриду алюмінію (AlN). Напилення таких шарів здійснювали за двома режимами (табл. 1). Товщину та напругу пробою сформованих шарів визначали за допомогою товщиноміра ВТА-4-П та лабораторної установки ППП 12-56 відповідно (табл. 1).

Таблиця 1 – Напруга пробою сформованих ізоляційних шарів

№ режиму	Матеріал ізоляційного шару	Матеріал підкладки	Середня товщина шару, мкм	Упр, В
I	MgO	40X13	55	500
		АМг2	60	550
	AlN	40X13	40	400
		АМг2	41	450
II	MgO	40X13	53	750
		АМг2	28	500
	AlN	40X13	35	500
		АМг2	16	750

Металографічними дослідженнями встановлено значну пористість синтезованих шарів з оксиду магнію. Причому, пори різного розміру хаотично розташовані вздовж та за глибиною шару. Це відповідно відбивається на діелектричних характеристиках, які по відношенню до їх товщини є невисокими (Упр в межах 500 – 550 В). Досить висока товщина оксидних шарів пов'язана з тим, що магній володіючи низькою густиною, сприяє високій швидкості напилення його оксиду.

Варто зазначити, що одержані діелектричні шари з нітриду алюмінію є більш якісними за будовою та характеризуються вищими значеннями напруги пробою, яка складає 550-750 В.

Діелектричний шар AlN володіє рядом переваг порівняно з MgO: висока теплопровідність (140-280 Вт/(м·К)), твердість (7-8 по шкалі Мооса). Нітрид алюмінію є хімічно інертним в середовищах кислот і лугів [1].

Таким чином проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що формування ізоляційного шару слід робити з використанням нітриду алюмінію. Це підтверджується його більшою технологічністю під час нанесення, а також можливістю одержати вищі діелектричні властивості на шарах меншої товщини.

#### Література

1. А.Ф. Белянин, М.И. Самойлович, В.Д. Житковский, А.Л. Каменева. Ударостойкие защитные пленочные покрытия на основе AlN в электронной технике. /Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2005. - №5. – С 35.
2. З.А.Дулягіна, С.А.Беспалов, В.Я.Підкова, Д.Полоцький. Дослідження діелектричних шарів на конструкційних матеріалах сформованих гібридною іонно-плазмовою розрядною системою// Металлофиз. новейшие технол., 2011, – т.33, С. 393-400.
3. Осипов Л., Руденко Э., Семенюк В., Коротах И., Одионов В., Павлов Г., Сологуб В. Высокоэффективный источник низкотемпературного нанесения пленок и покрытий. Наноиндустрия, 2010, № 2, с. 4-6.

### **ВЛИЯНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ МЕДИ СО СТАЛЬЮ НА ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ**

В.В. Чигарев, профессор, д.т.н, ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь,  
П.А. Гавриш, с.н.с. ДГМА, г. Краматорск

Работоспособность сварных соединений меди со сталью, которые имеют химическую и структурную неоднородность, в эксплуатационных условиях (например, доменные фурмы и узлы кристаллизаторов) зависит от выбранного способа сварки, электродных материалов и флюсов. Сварное соединение у границы сплавления имеет зону переменного состава и обусловленную этим химическую неоднородность [1,2]. Термодинамические функции расплавов меди и железа характеризуются положительными отклонениями от идеальности. Результаты экспериментальных значений интегральных энтальпий смешения, полученных методами высокотемпературной калориметрии подтверждают теоретические выводы [3].